پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۹ شمارهٔ۱، نیمهٔ اول ۱۳۹۷، صفحهٔ ۴۲-۲۹
Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 9, No. 1, 2018, p. 29-42
DOI: 10.22067/ijpr.v9i1.30586

شناسایی شاخص‌های مؤثر در رشد ژنوتیپ‌های نخود تحت تنش خشکی و پس از تنش

راهله رهباریان*
عضو هیئت علمی (استادیار) رشته زیست‌شناسی، گروه زیست‌شناسی دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۰۴

چکیده

به‌منظور شناسایی شاخص‌های مؤثر در میزان تحمل به تنش و حفظ رشد پس از تنش در ژنوتیپ‌های نخود، آزمایشی با یک ژنوتیپ کاندید متحمل به خشکی MCC392 و یک رقم معرفی‌شده به‌عنوان متحمل به خشکی بین‌المللی MCC877 و یک ژنوتیپ کاندید حساس به خشکی شامل MCC68 در دو تیمار تنش خشکی (۲۵درصد ظرفیت زراعی) و بدون تنش (ظرفیت زراعی) در اتاقک رشد در شرایط کنترل‌شده به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. تنش به‌مدت ۹روز در مرحله گلدهی اعمال گردید و سپس گیاهان به اندازه ظرفیت زراعی آبیاری شدند. میزان عملکرد فتوسیستم II، اسیمیلاسیون CO_2، مقاومت روزنه‌ای، ضریب پایداری غشاء، تعرق، محتوای نسبی آب برگ، پتانسیل آب برگ و صفات مورفولوژیکی ریشه و اندام هوایی ژنوتیپ‌ها در مراحل قبل از اعمال تنش، ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از تنش و سپس ۲۴ ساعت پس از آبیاری (ترمیم) مورد سنجش و ارزیابی قرارگرفت. در بررسی میزان بهبود رشد در مرحله ترمیم مشخص شد که ژنوتیپ متحمل MCC877، بیشترین میزان کارآیی مصرف آب و کمترین میزان تعرق را در مرحله ترمیم نسبت به دو ژنوتیپ دیگر داشت. بر اساس این نتایج می‌توان گفت که حفظ ضریب پایداری غشاء، کاهش تعرق و افزایش کارآیی مصرف آب در افزایش توانایی گیاهان جهت مقابله با تنش و همچنین فراهم‌نمودن شرایط رشد گیاه پس از اتمام تنش، نقش مؤثری خواهند داشت. علاوه برآن، ژنوتیپ‌های متحمل (MCC392 و MCC877) که از کاهش شدید عملکرد فتوسنتزی در شرایط تنش جلوگیری نمودند و قادر به انجام اسیمیلاسیون CO_2 در حد مطلوب بودند، پس از اتمام تنش نیز از توانایی بالاتری جهت برگشت به شرایط رشد عادی برخوردار بودند.

کلمات کلیدی: اسیمیلاسیون CO_2، عملکرد فتوسیستم II، مقاومت روزنه‌ای، نخود

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) گیاهی است یکساله، خودگرده‌افشان، دیپلوئید (۲n=۲x=۱۶) و دارای ژنوم نسبتاً کوچک (۷۴۰ Mb) که از نظر اهمیت در میان بقولات، رتبه سوم دنیا و جایگاه نخست آسیا و مناطق شمال آفریقا را دارا می‌باشد (Rahbarian, *et al*., 2012). ویژگی‌هایی همچون توانایی تثبیت نیتروژن، ریشه‌دهی عمیق و استفاده مؤثر از نزولات جوی سبب شده است که این گیاه نقش مهمی در ثبات تولید نظام‌های زراعی ایفاء نماید. در ایران، نخود معمولاً در مناطقی کشت می‌شود که رطوبت خاک در انتهای فصل رسیدن گیاه، محدودکننده تولید است و گیاه با خشکی انتهای فصل مواجه می‌شود. در چنین مناطقی سازوکارهای کارآمد مرتبط با ریشه و اندام هوایی در ثبات عملکرد مؤثر خواهند بود (Rahbarian, *et al*., 2012).

تنش خشکی سبب کاهش رشد گیاه از طریق تغییر فرایندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه از جمله تغییر فعالیت آنزیم‌ها، نفوذپذیری غشاء سلول، وضعیت آب برگ و میزان فتوسنتز گیاه می‌شود. کاهش رشد برگ و یا پیری برگ ها و کاهش تعرق در شرایط تنش خشکی یکی از فرایندهای سازشی گیاه در پاسخ به تنش خشکی است (Jallel *et al*., 2009). بنابراین می‌توان گفت که تفاوت ژنوتیپ‌های مختلف از نظر میزان نسبی آب برگ به تفاوت آن‌ها در میزان جذب آب از خاک و همچنین توانایی آن‌ها در افزایش کارآیی سیستم ریشه‌ای و قدرت کنترل تبخیر آب از طریق روزنه‌ها مربوط می‌شود (Farooq *et al*., 2009). در گیاهان ذرت (*Zea mays* L.)، سویا (*Glycine max*) و گندم (*Triticum aestivum*)، میزان نسبی آب برگ به‌عنوان نشانگر جهت شناسایی ژنوتیپ های متحمل به تنش خشکی معرفی شده است (Helal & Samir, 2008؛ Figueiredo *et al*., 2001؛ Galle *et al*., 2002). بنابراین بالاتربودن میزان نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی، به‌همراه بیشتربودن مواد محلول و متابولیت‌ها

*نویسنده مسئول: تلفن: ۰۵۱۳۸۶۸۳۰۰۹، ra_rahbarian@yahoo.com

سبب افزایش مقاومت این گیاهان به تنش خشکی شده است (Guerfel *et al*., 2008).

افزایش فلورسانس کلروفیل و کاهش عملکرد فتوسیستمII یکی دیگر از پیامدهای تنش خشکی است (Ahmed *et al*., 2002). کاهش عملکرد فتوسیستمII (Fv/Fm) در شرایط تنش خشکی مبین کاهش میزان انتقال الکترون از فتوسیستمII به فتوسیستمI است (Zlatev & Yordanov, 2004). نتایج حاصل از چندین بررسی نشان داده است که کمپلکس آزادکننده اکسیژن و مراکز واکنش فتوسیستمII تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفته و تخریب می‌شود. برخی از این تخریب‌ها به پروتئین D1 برمی‌گردد که در ساختمان فتوسیستمII قرار دارد (Ahmed *et al*., 2002). کاهش عملکرد فتوسیستمII در شرایط تنش خشکی، در بررسی‌هایی که روی لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) (Zlatev & Yordanov, 2004) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) (Kiani *et al*., 2008) انجام شده نیز گزارش شده است. کمبود آب و بسته‌شدن روزنه‌ها منجر به ممانعت فتوسنتز می شود، بنابراین در تنش خشکی، حفظ توان فتوسنتزی گیاه اهمیت زیادی در مقاومت به خشکی پیدا می‌کند. استفاده از ظرفیت فتوسنتزی و فلورسانس کلروفیل به‌عنوان روشی ساده برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی ذرت، معرفی شده است (Ashraf *et al*., 2007). تنش خشکی از طریق افزایش تولید مواد تخریب‌کننده غشاء و گونه‌های اکسیژن فعال از جمله پراکسید هیدروژن، سبب تخریب غشاء سلولی گشته و در نتیجه ضریب پایداری غشاء در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابد. گیاهان متحمل به خشکی برای مقابله با تخریب غشاء فرایندهایی را فعال می‌کنند که یکی از این فرایندها تجزیه پراکسید هیدروژن توسط آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز است. بنابراین میزان تخریب غشاء در شرایط تنش خشکی در ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معمولاً کمتر از ژنوتیپ‌های حساس است (Fu & Hang, 2001). کاهش ضریب پایداری غشاء در شرایط تنش خشکی در گیاهان دیگر از جمله گندم، زیتون (*Olea europaea* L.) و یونجه (*Medicago sativa*) نیز گزارش شده است (Bayoumi *et al*., 2008؛ Nunes *et al*., 2008؛ Guerfel *et al*., 2008).

شناسایی و درک فرایندهای مؤثر در بهبود تحمل به خشکی و بازگشت به شرایط رشد عادی پس از تنش، می‌تواند نقش مؤثری در گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش ایجاد نماید (Parameshwarappa & Salimath, 2008). حفظ شاخص‌های رشد ریشه و اندام هوایی در شرایط تنش و توانایی بازگشت به شرایط عادی رشد در گیاهان می‌تواند در جبران اثرات تخریبی تنش بسیار مؤثر باشد. در این تحقیق سعی شده است با ارزیابی و سنجش واکنش‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی، ژنوتیپ‌های حساس و متحمل به خشکی نخود، ویژگی‌های مطرح در تحمل و بازگشت به شرایط رشد عادی ژنوتیپ‌ها مورد بررسی قرار گیرد و مجموعه صفات احتمالی مؤثر در تحمل به خشکی و بازگشت به شرایط عادی ژنوتیپ‌ها معرفی گردند.

مواد و روش‌ها

این آزمایش با یک ژنوتیپ کاندیدای متحمل به خشکی MCC392 (Rahbarian, *et al*., 2011; Rahbarian, *et al*., 2012) و یک ژنوتیپ کاندیدای حساس به خشکی شامل MCC68 (Rahbarian, *et al*., 2011; Rahbarian, *et al*., 2012)، یک رقم معرفی‌شده به‌عنوان متحمل به خشکی بین المللی MCC877 جهت مقایسه با ژنوتیپ‌های کاندیدا با دو تیمار آبیاری (۲۵درصد ظرفیت زراعی) و بدون تنش در اتاقک رشد مدل گروپ (RSP Group) در شرایط کنترل‌شده انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. هر واحد آزمایشی از یک گلدان به حجم ۲/۵ لیتر تشکیل شد که از خاک مزرعه پُر گردید. درصد رطوبت خاک از طریق اندازه‌گیری درصد وزنی روزانه رطوبت خاک و اضافه‌نمودن آب مصرفی به هر گلدان، تنظیم شد. گلدآن‌ها در اتاقک رشد در ماه اول با درجه‌حرارت روز و شب به‌ترتیب ۲۱ و ۸ درجه سانتی‌گراد و ۱۲/۵ساعت روشنایی و در ماه دوم در درجه‌حرارت روز و شب به‌ترتیب ۲۷ و ۱۲ درجه سانتی‌گراد و ۱۳ساعت روشنایی مطابق با تغییرات درجه‌حرارت در مناطق تولید نخود قرار گرفتند. با توجه به پژوهش‌های قبلی و تعیین مرحله گلدهی به‌عنوان مرحله حساس به تنش در نخود (Rahbarian, *et al*., 2011; Rahbarian, *et al*., 2012)، تنش در مرحله گلدهی اعمال شد و گلدآن‌ها به‌مدت ۹روز در شرایط تنش قرار گرفتند. میزان عملکرد فتوسیستمII، اسیمیلاسیون CO_2، مقاومت روزنه‌ای، ضریب پایداری غشاء، محتوای نسبی آب برگ، پتانسیل آب برگ، تعرق، کارآیی لحظه‌ای مصرف آب و صفات مورفولوژیکی ریشه و ساقه ژنوتیپ‌ها در مرحله گلدهی بدون تنش خشکی، ۲۴ و ۴۸ساعت پس از شروع تنش، مورد سنجش و ارزیابی قرارگرفت. پس از اعمال تنش خشکی به‌مدت ۹روز، گلدان‌ها در حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند و ۲۴ساعت بعد از آبیاری (ترمیم) نیز صفات ذکرشده مجدداً اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری میزان عملکرد فتوسیستمII، ابتدا سطح برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته با قرارگرفتن گیره روی آن‌ها

به‌مدت ۲۰دقیقه در شرایط تاریکی قرار گرفت و سپس عملکرد فتوسیستمII، به‌وسیله دستگاه کلروفیل فلورومتر مدل OS5-FI اندازه‌گیری شد (Maxwell *et al*., 2000).

در هر مرحله برای اندازه‌گیری پتانسیل آب برگ بر حسب بار، نمونه‌برداری از گیاهان انجام و بلافاصله با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری پتانسیل آب برگ (ARIMAD 3000, MRC) اندازه‌گیری انجام شد (Gindaba, *et al*., 2004). جهت سنجش شاخص پایداری غشاء، از روش Permachandra *et al*, (1990) استفاده شد. طبق معادله مقابل میزان[۱] MSI آن‌ها بر حسب درصد اندازه‌گیری شد.

$$MSI = 1 - \frac{EC_{40}}{EC_{100}}$$ معادله (۱)

EC_{40}: هدایت الکتریکی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد،
EC_{100}: هدایت الکتریکی در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد

جهت تعیین میزان آب نسبی برگ از روش Barr & Weatherley (1962) استفاده شد و مقدار نسبی آب برگ (RWC[۲]) بر حسب درصد طبق معادله (۲) محاسبه گردید.

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100$$ معادله(۲)

که در آن FWوزن تر برگ، DW وزن خشک برگ و TW وزن برگ در حالت آماس کامل است.

میزان مقاومت روزنه‌ای گیاهان با دستگاه پرومتر (AP4-DELTA T DEVICES UK) اندازه‌گیری و ثبت شد.

میزان اسیمیلاسیون CO_2 و تعرق نیز با دستگاه اندازه گیری فتوسنتز به روش باز (IRGA, LCA4, ADC Bio. Scientific Ltd., Herfordshire) اندازه‌گیری شد و میزان کارآیی لحظه‌ای مصرف آب بر اساس نسبت اسیمیلاسیون به تعرق محاسبه گردید.

سطح برگ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ مدل تجزیه تصویری دلتا تی اسکن (Delta T scan image analysis system) اندازه‌گیری شد. سپس اندام هوایی گیاهان جهت اندازه‌گیری وزن خشک گیاه به‌مدت ۴۸ساعت در آون ۷۰درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و پس از آن توزین شد.

صفات ریشه‌ای از قبیل سطح ریشه، طول ریشه و قطر ریشه به‌وسیله دستگاه آنالیز ریشه مدل تجزیه تصویری دلتا تی اسکن اندازه‌گیری شد. حجم ریشه نیز از طریق تفاوت حجم آب استوانه مدرج اندازه‌گیری شد و سپس ریشه‌ها جهت اندازه‌گیری وزن خشک گیاه به‌مدت ۴۸ساعت در آون ۷۰درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و پس از آن توزین شدند.

پس از اندازه‌گیری صفات مورد بررسی، مشاهدات به‌وسیله نرم‌افزارهای JMP-4 و MSTAT-C مورد تجزیه آماری قرارگرفتند. مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون دانکن صورت گرفت و معنی‌داری در سطح ۵درصد درنظر گرفته شد.

نتایج و بحث

عملکرد فتوسیستمII به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفت (جدول ۱).

قبل از تنش خشکی، بیشترین و کمترین عملکرد فتوسیستمII به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های MCC877 و MCC68 اختصاص یافت، ولی تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از این نظر وجود نداشت (جدول ۲).

عملکرد فتوسیستمII، ۲۴ساعت پس از تنش، در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش در ژنوتیپ MCC68 کمتر از ژنوتیپ‌های متحمل (MCC877 و MCC392) بود (جدول۱). عملکرد فتوسیستمII در این مرحله از تنش خشکی، در هر سه ژنوتیپ به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد کاهش یافت ($P≤۰/۰۱$) ولی شدت این کاهش (۷۰درصد) در ژنوتیپ MCC68 بیشتر از دو ژنوتیپ دیگر بود (جدول ۲).

عملکرد فتوسیستمII در هر سه ژنوتیپ مورد بررسی، ۴۸ساعت پس از تنش، به‌طور معنی‌داری نسبت به گیاهان شاهد کاهش یافت ($p≤۰/۰۱$) (جدول ۲). با این حال شدت کاهش عملکرد فتوسیستمII در ژنوتیپ MCC877 (۴۹درصد) بسیار بیشتر از ژنوتیپ‌های MCC392 (۲۶درصد) و MCC68 (۲۷درصد) بود ($P≤۰/۰۵$).

بین ژنوتیپ‌های نخود مورد بررسی، در مرحله ترمیم، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در واقع گیاهانی که در شرایط تنش خشکی قرار گرفته بودند، پس از آبیاری توانستند عملکرد فتوسنتزی خود را در حد گیاهان شاهد افزایش دهند.

در مقایسه گیاهان با ۴۸ساعت تنش با گیاهان ترمیم‌شده، مشخص شد که ژنوتیپ MCC877 توانسته است عملکرد فتوسیستمII خود را در مرحله ترمیم حدود ۴۴درصد نسبت به مرحله ۴۸ساعت پس از تنش افزایش دهد که بیشترین میزان افزایش عملکرد فتوسیستمII می‌باشد. ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC68 تحت تنش نیز در مرحله ترمیم میزان عملکرد فتوسیستمII خود را به‌ترتیب حدود ۲۳درصد و۳۰درصد نسبت به مرحله ۴۸ساعت پس از تنش افزایش دادند (جدول ۲).

افزایش عملکرد فتوسنتزی فرایندی است که گیاهان جهت کاهش اثرات تخریبی ناشی از تنش خشکی و بازگشت به

[۱] Membrane Stability Index
[۲] Relative Water Content

شرایط رشد عادی برای خود اتخاذ می‌کنند (Rahbarian, *et al*., 2011). با توجه به این‌که ژنوتیپ متحمل MCC877 بیشترین میزان افزایش عملکرد فتوسنتزی را در شرایط ترمیم نشان داد، می‌توان گفت که احتمالاً این فرایند دفاعی در ژنوتیپ‌های متحمل با قدرت بیشتری انجام شده و توانایی آن ژنوتیپ‌ها را در مقابله با شرایط تنش و بازیابی قدرت رشد پس از اتمام تنش فراهم می‌نماید. کاهش نسبت Fv/Fm در شرایط تنش خشکی که نشان‌دهنده کاهش عملکرد فتوسیستمII است، به دلیل کاهش انتقال الکترون از فتوسیستمII به فتوسیستمI تحت تأثیر تنش خشکی می‌باشد (Rahbarian, *et al*., 2011). تنش خشکی سبب تخریب کمپلکس آزادکننده اکسیژن فتوسیستمII و مراکز واکنش فتوسیستمII می‌گردد. اثر تخریبی تنش خشکی بر پروتئینD_1 که در ساختمان فتوسیستمII قرار دارد، در گیاهان نخود و لوبیا نیز گزارش شده است (Rahbarian, *et al*., 2011 و Zlatev & Yordanov, 2004). Ashraf *et al*, (2007) در بررسی اثرات تنش خشکی روی ژنوتیپ‌های ذرت به این نتیجه رسیدند که استفاده از نسبت Fv/Fm و ظرفیت فتوسنتزی، معیار مناسبی جهت بِه‌گزینی ژنوتیپ‌های ذرت در شرایط تنش خشکی است. سایر محققان نیز گزارش نمودند که همبستگی معنی‌داری بین میزان فلورسانس کلروفیل و پتانسیل رشد ریشه و اندام هوایی گیاه، میزان تبادل گازهای تنفسی، ضریب ثبات غشاء و پتانسیل آب برگ وجود دارد (Zlatev & Yordanov, 2004).

بیشترین و کمترین میزان نسبی آب برگ، در مرحله قبل از تنش، به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های MCC68 و MCC877 اختصاص یافت (جدول ۳).

میزان نسبی آب برگ، ۲۴ساعت پس از تنش در هر سه ژنوتیپ مورد بررسی نسبت به گیاهان شاهد کاهش یافت (P≤۰/۰۱) (جدول ۳)، ولی شدت این کاهش (۳۰درصد) در ژنوتیپ MCC877 بیشتر از دو ژنوتیپ دیگر بود.

میزان نسبی آب برگ در ۴۸ساعت پس از تنش، در هر سه ژنوتیپ در مقایسه با گیاهان شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (P≤۰/۰۱) (جدول۳). با این حال در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش بیشترین و کمترین میزان نسبی آب برگ به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC68 اختصاص یافت (P≤۰/۰۵) (جدول ۳).

میزان نسبی آب برگ در گیاهان ترمیم‌شده کمتر از گیاهان شاهد بود (P≤۰/۰۱) (جدول ۳).

میزان نسبی آب برگ در ژنوتیپ ترمیم‌شده MCC68 به مقدار ۱۳درصد نسبت به مرحله ۴۸ساعت پس از تنش، افزایش نشان داد که در مقایسه با دو ژنوتیپ دیگر بیشترین میزان افزایش نسبی آب برگ بود. میزان نسبی آب برگ در مرحله ترمیم در دو ژنوتیپ دیگر نسبت به گیاهان در مرحله ۴۸ساعت پس از تنش تفاوت چندانی نداشت (جدول ۳).

میزان نسبی آب برگ در مرحله ۴۸ساعت پس از تنش نسبت به مرحله ۲۴ساعت پس از تنش، در ژنوتیپ MCC392 به‌میزان ۱۰درصد و در ژنوتیپ MCC877 به میزان ۱۲درصد افزایش یافت، این در حالی است که میزان نسبی آب برگ با ادامه روند تنش، در ژنوتیپ MCC68 کاهش نشان داد و پس از آبیاری، این ژنوتیپ با افزایش معنی‌داری در میزان آب برگ مواجه شد (جدول ۳).

با توجه به این نتایج می‌توان گفت که ژنوتیپ‌های متحمل MCC877 و MCC392 در طی تنش خشکی با فعال‌نمودن فرایندهای دفاعی از قبیل کاهش تعرق و افزایش مقاومت روزنه ای، علاوه بر جلوگیری از کاهش میزان نسبی آب برگ، توانسته اند میزان نسبی آب برگ خود را در حد مطلوب بالا برده تا اثرات تخریبی ناشی از وجود تنش را به حداقل برسانند، ولی این امر در ژنوتیپ‌های حساس از قبیل MCC68 مشاهده نشد.

حفظ آب برگ و کاهش تبخیر و تعرق یک فرایند مهم اجتناب از تنش خشکی است. قدرت حفظ آب موجود در برگ در شرایط تنش خشکی، در ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی کاهش می‌یابد، بنابراین آب موجود در برگ از طریق تبخیر سطحی و یا تعرق، کاهش یافته و در نتیجه گیاه دچار کم‌آبی می‌شود (Beck, *et al*., 2007). ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی فرایندهایی برای حفظ آب برگ و جلوگیری از هدررفتن آن دارند. یکی از این فرایندها کاهش سطح برگ، جهت کاهش میزان تبخیر سطحی و تعرق و همچنین بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی است (Farooq, *et al*., 2009). تفاوت ژنوتیپ‌های مختلف از نظر میزان نسبی آب برگ به تفاوت آن‌ها در میزان جذب آب از خاک، همچنین توانایی آن‌ها در افزایش کارآیی سیستم ریشه‌ای و قدرت کنترل تبخیر آب از طریق روزنه‌ها مربوط می‌شود (Farooq, *et al*., 2009).

جدول۱: جدول تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه تحت تاثیر تنش خشکی و زمان در ژنوتیپ‌های مختلف نخود

Tabel1: Analyze of variance of studied indexes in relation to, stress, time in different chickpea genotypes.

	DF	MSI شاخص پایداری غشاء	RWC محتوای نسبی آب برگ	Root dry weight وزن خشک ریشه	Root volume حجم ریشه	Root area سطح ریشه	Root length طول ریشه	Fv/Fm عملکرد فتوسنتزی	Water use effiency کارایی مصرف آب	transpiration rate تعرق	assimilation rate اسیمیلاسیون	Stomatal resistance مقاومت روزنه ای	Water Potential پتانسیل آب برگ	Shoot length طول اندام هوایی
Genotype ژنوتیپ	2	1756.43**	486.84**	0.0095ns	6.86ns	5308713ns	936530ns	0.276**	36305.2ns	6.67**	167.46**	58087**	1.67ns	132.48**
Stress تنش	۱	3335.09**	1214.27**	0.0063ns	0.041ns	3131320ns	109310ns	1.21**	11202.6ns	10.96**	1244.87**	3333.3**	11.20ns	167.12**
Time زمان	۳	1560.65**	905.07**	0.0853*	7.17ns	2205392ns	10733ns	2.160**	270.7ns	6.30**	198.19**	3570.5**	5.57ns	2.9ns
Genotype*time ژنوتیپ×زمان	6	989.74**	825.82**	0.0053ns	5.77ns	9242833ns	22715ns	0.192**	554.7ns	6.03**	133.88**	655.0**	7.96ns	157.9**
Stress*time زمان×تنش	۳	219.72*	19.27ns	0.0023ns	0.19ns	3679121ns	24789**	0.408**	216.2ns	0.90ns	16.22ns	1938.8**	19.06ns	1.5ns
S.G.T ژنوتیپ×تنش× زمان	6	24.40ns	190.49ns	0.0383ns	4.55ns	4058977ns	10883ns	0.113*	418.6ns	2.04ns	192.76**	1519.5**	27.17ns	100.8*

*، ** و ns به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۰،۰۵ ، ۰،۰۱ و عدم وجود تفاوت معنی‌دار را نشان می‌دهد.

*,** and ns showed significant difference in 0.05, 0.01 and non significant respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد فتوسنتزی، کارآیی مصرف آب، میزان تعرق، میزان اسیمیلاسیون دی اکسید کربن، مقاومت روزنه‌ای و پتانسیل آب برگ در ژنوتیپ‌های نخود در مراحل بدون تنش، ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از خشکی و ترمیم

Table2. Mean Fv/Fm, water use efficiency (WUE), transpiration rate (E), CO_2 assimilation rate (A), stomatal resistance , water potential, in the flowering stage of chickpea genotypes in non-stress (control), 24 hours and 48 hours after drought stress and recovery stages

Genotype ژنوتیپ	Stress/ Control شاهد/تنش	Stage مرحله	Fv/Fm عملکرد فتوسنتزی	Water use efficiency کارآیی مصرف آب	transpiration rate (mmol $m^{-2}s^{-1}$) تعرق	CO_2 assimilation rate (µmol $m^{-2}s^{-1}$) نرخ اسیمیلاسیون	Stomatal resistance (m^2.s.mol) مقاومت روزنه‌ای	Water potential (Mp) پتانسیل آب برگ
MCC392	Control	Control	0.83b-d	7.1a	1.06c-e	7.52ef	4.3i-k	-0.12a
MCC688	Control	Control	0.80b-e	13.2a	0.46c	6.05fg	4.7i-k	-0.12 a
MCC877	Control	Control	0.88a-c	19.1a	0.7d-g	13.40b	9.4fg	-0.12 a
MCC392	Control	24h. after stress	0.71e-h	12.1a	1.08c-e	13.10b-d	5.2i-k	-0.12 a
MCC392	Stress	24h. after stress	0.52i	10.1a	0.41g	4.16gh	2.3k	-0.10 a
MCC68	Control	24h. after stress	0.63d-g	9.8a	1.01d-f	9.96de	6.7g-i	-0.94 a
MCC68	Stress	24h. after stress	0.19j	6.2a	0.68d-g	4.22gh	3.9i-k	-0.98 a
MCC877	Control	24h. after stress	0.70gh	21.1a	0.63e-g	13.20bc	6.2h-j	-0.10 a
MCC877	Stress	24h. after stress	0.41j	11.6a	0.32g	3.70gh	9.8c	-0.12 a
MCC392	Control	48h. after stress	0.92ab	6.0a	1.69b	10.20c-e	8.7f-h	-0.94 a
MCC392	Stress	48h. after stress	0.68f-h	3.5a	0.69d-g	2.43h	23.7c	-0.13 a
MCC68	Control	48h. after stress	0.82b-f	4.7a	1.57bc	7.39ef	6.0h-j	-0.97 a
MCC68	Stress	48h. after stress	0.60hi	2.9a	1.18b-d	3.46gh	42.0a	-0.12 a
MCC877	Control	48h. after stress	0.86ab	7.1a	1.59bc	11.40b-d	11.7d-f	-0.10 a
MCC877	Stress	48h. after stress	0.44i	10.1a	0.36g	3.65gh	29.7b	-0.11 a
MCC392	Control	Recovery	0.89a	2.8a	2.69a	7.61jk	2.9jk	-0.10 a
MCC392	Stress	Recovery	0.9a	5.3a	1.22b-d	6.41fg	13.3d	-0.12 a
MCC68	Control	Recovery	0.86a-e	8.8a	1.09c-e	9.64jk	3.0jk	-0.10 a
MCC68	Stress	Recovery	0.86a-d	7.8 a	1.01d-f	7.92ef	12.0de	-0.12 a
MCC877	Control	Recovery	0.87a-c	27.3a	0.77d-g	21.00e-g	9.7e-g	-0.13 a
MCC877	Stress	Recovery	0.75c-f	11.5a	0.51f g	5.80fg	9.7e-g	-0.10 a

میانگین‌هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند (P≤0.05).

Values with the same letter within a column are not significantly different (p≤0.05).

جدول۳- مقایسه میانگین شاخص پایداری غشاء، محتوای نسبی آب برگ، وزن خشک، حجم، سطح و طول ریشه، در ژنوتیپ‌های نخود در مراحل بدون تنش، ۲۴ و ۴۸ ساعت پس از خشکی و ترمیم

Table 6. Mean MSI, RWC, root dry weight, root volume, root area, root length in the flowering stage of chickpea genotypes in without stress, 24 hours and 48 hours after drought stress and recovery stages

Genotype ژنوتیپ	Stress/ Control شاهد/تنش	Stage مرحله	MSI(%) شاخص پایداری غشاء	RWC(%) محتوای نسبی آب برگ	Root dry weight(g) وزن خشک ریشه	Root volume (cm^3) حجم ریشه	Root area(mm^2) سطح ریشه	Root length(m) طول ریشه
MCC392	Control	Control	57.4g-i	62.8f-h	0.44a-c	8.3a	7508.0c	75.5a-c
MCC688	Control	Control	60.0f-i	66.1e-h	0.32b-e	3.7cd	3280.7b-d	50.7cd
MCC877	Control	Control	74.1b-d	60.2gh	0.26de	4.3b-d	6141.0b-d	76.1a-c
MCC392	Control	24h. after stress	75.8bc	78.0a-d	0.48ab	4.3b-d	7393.7ab	93.9a
MCC392	Stress	24h. after stress	54.4hi	64.0f-h	0.35a-e	3.3cd	4475.6a-c	58.6cd
MCC68	Control	24h. after stress	74.4b-d	64.0fgh	0.39a-e	3.3cd	4933.3a-c	64.0b-d
MCC68	Stress	24h. after stress	53.2hi	61.6gh	0.37a-e	2.7d	3560.3c	52.8cd
MCC877	Control	24h. after stress	61.3e-h	76.5b-d	0.33b-e	4.0b-d	4403.0bc	72.6a-d
MCC877	Stress	24h. after stress	39.8j	54.4h	0.49a	5.8b	6301.0a-c	76.9a-c
MCC392	Control	48h. after stress	79.5ab	87.2a	0.41a-d	5.0bc	5503.6a-c	43.5d
MCC392	Stress	48h. after stress	71.3b-e	73.7c-e	0.38a-e	4.0b-d	5101.0a-c	62.2b-d
MCC68	Control	48h. after stress	79.3ab	72.0c-f	0.37a-e	4.0b-d	5650.6a-c	71.3a-d
MCC68	Stress	48h. after stress	67.9c-f	59.8h	0.38a-e	4.3b-d	5311.9a-c	68.5a-d
MCC877	Control	48h. after stress	66.3c-g	78.1a-d	0.34a-e	4.3b-d	5462.1a-c	60.6cd
MCC877	Stress	48h. after stress	64.4d-g	66.7e-h	0.4۲a-d	5.0bc	6966.6ab	63.2a-c
MCC392	Control	Recovery	85.8a	78.9a-d	0.31c-e	4.0b-d	6964.8ab	90.4ab
MCC392	Stress	Recovery	73.9b-d	73.7c-e	0.32b-e	3.7cd	4948.6a-c	56.3cd
MCC68	Control	Recovery	67.6c-f	84.4a-c	0.24e	3.3cd	5700.9a-c	91.3ab
MCC68	Stress	Recovery	50.3i	73.5c-e	0.3۳b-e	3.3cd	4702.2a-c	65.7a-d
MCC877	Control	Recovery	73.7b-d	79.3a-c	0.33b-e	3.7cd	4722.5a-c	74.3a-c
MCC877	Stress	Recovery	60.8f-h	69.6d-g	0.3۵a-e	3.3cd	5038.6a-c	64.4a-d

میانگین هایی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک هستند طبق آزمون دانکن اختلاف معنی داری ندارند (P≤0.05).

Values with the same letter within a column are not significantly different (p≤0.05).

بالاتر بودن میزان نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی نسبت به ژنوتیپ‌های حساس در گیاه گندم نیز گزارش شده است (Bayoumi, *et al*., 2008).

قبل از تنش، تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC68 از نظر ضریب پایداری غشاء مشاهده نشد، ولی ژنوتیپ MCC877 به‌طور معنی‌داری ضریب پایداری غشاء بالاتری نسبت به دو ژنوتیپ دیگر نشان داد (P≤۰/۰۵) (جدول ۳).

ضریب پایداری غشاء در مرحله ۲۴ساعت پس از تنش، در هر سه ژنوتیپ مورد بررسی نسبت به گیاهان شاهدکاهش یافت (P≤۰/۰۱) (جدول ۳).

ضریب پایداری غشاء ۴۸ساعت پس از تنش، در هر سه ژنوتیپ نسبت به گیاهان شاهد کاهش یافت (جدول ۳). با این حال، در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش کمترین ضریب پایداری غشاء به ژنوتیپ MCC877 اختصاص یافت (p≤۰/۰۵) (جدول ۳).

در مرحله ترمیم، ضریب پایداری غشاء در ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC68 و MCC877 به‌ترتیب به میزان ۱۵، ۲۵ و ۱۸ درصد نسبت به گیاهان شاهد کاهش نشان داد که این تغییرات معنی‌دار بود (P≤۰/۰۵)(جدول ۳).

در مقایسه گیاهان پس از ۴۸ساعت تنش با گیاهان ترمیم‌شده، مشخص شد که ژنوتیپ MCC68 در مرحله ترمیم نتوانسته ضریب پایداری غشاء خود را در حد مطلوبی حفظ نماید و نسبت به مرحله ۴۸ساعت تنش کاهش معنی‌داری در میزان ضریب پایداری آن مشاهده می‌شود. ولی ضریب پایداری غشاء در ژنوتیپ‌های متحمل MCC877 و MCC392 در مرحله پس از ۴۸ساعت تنش و ترمیم تفاوت چندانی مشاهده نشد. این مطلب نشان‌دهنده این امر است که ژنوتیپ‌های متحمل قادر به حفظ ضریب پایداری غشاء در شرایط تنش هستند، بنابراین از لحاظ ضریب پایداری غشاء تفاوت معنی‌داری با مرحله ترمیم نداشتند (جدول ۳). ادامه روند تنش در ژنوتیپ MCC68 سبب تخریب فرایندهای پایداری غشاء گشته و بنابراین حتی پس از ترمیم نیز این ژنوتیپ قادر به حفظ پایداری غشاء در حد مطلوب نبوده و با کاهش شدید پایداری غشاء مواجه شده‌است (جدول ۳).

به‌نظر می‌رسد که تنش خشکی از طریق افزایش تولید مواد تخریب‌کننده غشاء از جمله پراکسید هیدروژن، سبب تخریب غشاء سلولی گشته و در نتیجه ضریب پایداری غشاء در شرایط تنش خشکی کاهش یافته است.

بررسی پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه نشان می دهند که گیاهان متحمل به تنش خشکی فرایندهایی برای مقابله با تخریب غشاء دارند که یکی از این فرایندها تجزیه پراکسید هیدروژن توسط آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز است. بنابراین تخریب غشاء در تنش خشکی در ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی کمتر از ژنوتیپ‌های حساس است (Rahbarian, *et al*., 2011).

قبل از تنش، تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر پتانسیل آب برگ مشاهده نشد (جدول ۲).

پتانسیل آب برگ ۲۴ساعت پس از تنش، در ژنوتیپ MCC392 نسبت به گیاه شاهد افزایش و در ژنوتیپ‌های MCC68 و MCC877 کاهش یافت، ولی این تغییرات معنی‌دار نبود (جدول ۲).

پتانسیل آب برگ، ۴۸ساعت پس از تنش، در هر سه ژنوتیپ نسبت به شاهد کاهش یافت، ولی این تغییرات معنی‌دار نبود (جدول۵). در این مرحله از تنش، ژنوتیپ MCC392 کمترین میزان پتانسیل آب برگ را به خود اختصاص داد (جدول ۲). بنابراین بیشترین میزان کاهش پتانسیل آب برگ (۴۲درصد) متعلق به ژنوتیپ MCC392 بود (جدول ۲).

ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC68 در مرحله ترمیم نسبت به گیاهان شاهد، پتانسیل آب کمتری داشتند، در حالی که در این مرحله، ژنوتیپ MCC877 پتانسیل آب برگ بیشتری نسبت به ژنوتیپ شاهد نشان داد.

در مقایسه گیاهان پس از ۴۸ساعت تنش با گیاهان ترمیم‌شده مشخص شد که این ژنوتیپ‌ها در مرحله ترمیم، پتانسیل آب برگ بالاتری نسبت به گیاهان تحت تنش دارند. این در حالی است که گیاهان شاهد ترمیم‌شده پتانسیل آب برگ کمتری نسبت به گیاهان پس از ۴۸ساعت تنش نشان دادند. بنابراین می‌توان گفت که افزایش پتانسیل آب برگ گیاهان ترمیم‌شده نسبت به گیاهان پس از ۴۸ساعت تنش، نشان‌دهنده یک فرایند دفاعی در برابر تنش خشکی است. ژنوتیپ‌های ترمیم‌شده MCC392 و MCC68 به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان افزایش پتانسیل آب برگ نسبت به گیاهان پس از ۴۸ساعت تنش بودند.

بالاتربودن پتانسیل آب برگ در ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی دلیلی بر توانایی حفظ آب و کاهش ازدست‌دادن آب در این گیاهان در تنش خشکی می‌باشد (Gunes, *et al*., 2006). Ganjeali *et al*, (2014) نیز در بررسی انجام‌شده روی ژنوتیپ‌های نخود در شرایط تنش خشکی، شاخص پتانسیل آب برگ را به‌عنوان شاخص مناسبی جهت ارزیابی میزان تحمل به خشکی در نخود معرفی نمودند.

قبل از تنش، بیشترین و کمترین وزن‌خشک‌ریشه به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC877 اختصاص

یافت (P≤۰/۰۵) (جدول ۳). وزن خشک ریشه ۲۴ساعت پس از تنش، در ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC68 به‌ترتیب به میزان ۲۸/۵ و ۰/۷درصدکاهش یافت، ولی در ژنوتیپ MCC877 به میزان ۳۱درصد افزایش یافت. با این حال، در شرایط تنش خشکی و بدون تنش بیشترین وزن خشک ریشه به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های MCC877 و MCC392 اختصاص یافت (جدول ۳).

وزن خشک ریشه ۴۸ساعت پس از تنش، در ژنوتیپ‌های MCC392 به میزان ۸درصد کاهش و در ژنوتیپ MCC877 به میزان ۲۴درصد افزایش یافت، ولی در ژنوتیپ MCC68 تغییر چندانی نسبت به شرایط بدون تنش نشان نداد (جدول۳).

وزن خشک ریشه در مرحله ترمیم، در هر سه ژنوتیپ بیشتر از گیاهان شاهد بود، ولی این افزایش در ژنوتیپ MCC68 (۳۳درصد) بیشتر از دو ژنوتیپ دیگر (۶درصد) بود (جدول ۳).

به نظر می‌رسد که هر سه ژنوتیپ مورد بررسی با افزایش وزن خشک ریشه در مرحله ترمیم سعی در به حداقل‌رساندن خسارات ناشی از تنش داشته‌اند.

رشد ریشه توسط عوامل محیطی و ژنتیکی کنترل می شود. هنگامی که گیاه با تنش خشکی مواجه می‌شود، ریشه نقش مهمی را در بقاء آن ایفا می‌کند (Ganjeali, & Kafi, 2007). گیاه در شرایط تنش خشکی برای فزایش توانایی جذب ریشه‌ها باید سهم ماده فتوسنتزی اختصاص یافته به ریشه‌ها را افزایش دهد، بنابراین گیاهان متحمل به تنش معمولاً از رشد ریشه‌ای بیشتری در شرایط تنش خشکی برخوردار خواهند بود. در بررسی انجام‌شده نیز مشخص شد که ژنوتیپ متحمل MCC877 در شرایط تنش رشد سیستم ریشه‌ای را افزایش داده است تا از این طریق اثرات زیانبار تنش را به حداقل برساند. در تأیید این مسئله نتایج پژوهش‌های Ganjeali & Kafi (2007) نیز نشان داده است که گیاهانی که طول ریشه اصلی، تعداد ریشه‌های جانبی، تراکم طول ریشه و نسبت وزن خشک ریشه به ساقه بالاتری دارند، از تحمل بیشتری نسبت به تنش خشکی برخوردار هستند.

قبل از تنش، بیشترین و کمترین حجم ریشه به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC68 اختصاص یافت (P≤۰/۰۵) (جدول ۳).

حجم ریشه ۲۴ساعت پس از تنش، در ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC68 به‌ترتیب به میزان ۲۵درصد و ۲۰درصد کاهش یافت، ولی در ژنوتیپ MCC877 به میزان ۳۱درصد افزایش یافت (جدول ۳). با این حال، بیشترین حجم ریشه در شرایط تنش خشکی و بدون تنش به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های MCC877 و MCC392 اختصاص یافت (P≤۰/۰۵) (جدول۳).

بیشترین و کمترین سطح ریشه نیز در شرایط بدون تنش به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC68 اختصاص یافت (P≤۰/۰۵) (جدول ۳).

بیشترین و کمترین طول ریشه نیز در شرایط بدون تنش به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های MCC877 و MCC68 اختصاص یافت (جدول ۳).

سطح ریشه ۲۴ساعت پس از تنش، در ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC68 به‌ترتیب به میزان ۴۰ و ۲۸درصد نسبت به گیاهان شاهد کاهش و در ژنوتیپ MCC877 به میزان ۴۳درصد افزایش یافت (جدول ۳).

طول ریشه نیز ۲۴ساعت پس از تنش، در ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC68 به‌ترتیب به میزان۲۷ و ۱۷درصد نسبت به گیاهان شاهد کاهش و در ژنوتیپ MCC877 به میزان ۶درصد افزایش یافت (جدول ۳).

حجم و سطح ریشه، ۴۸ساعت پس از تنش، در ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC68 نسبت به شرایط بدون تنش کاهش، ولی در ژنوتیپ MCC877 افزایش یافت. طول ریشه نیز در این مرحله در ژنوتیپ‌های MCC877 و MCC392 به‌ترتیب به میزان ۴/۶درصد و ۴۳درصد نسبت به شرایط بدون تنش افزایش یافت، ولی در ژنوتیپ MCC68 کاهش ۴درصدی نسبت به شرایط بدون تنش نشان داد (جدول۳).

حجم و طول ریشه در مرحله ترمیم در هر سه ژنوتیپ مورد بررسی کمتر از گیاهان شاهد بود، ولی تغییرات معنی‌دار نبود. سطح ریشه در دو ژنوتیپ MCC392 و MCC68 نسبت به گیاه شاهد، کاهش و در ژنوتیپ MCC877 افزایش نشان داد ولی این تغییرات معنی‌دار نبود (جدول ۳).

افزایش میزان رشد ریشه در شرایط تنش خشکی می‌تواند دلیلی بر افزایش تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های مورد بررسی باشد. طبق نتایج حاصل از این بررسی، ژنوتیپ متحمل MCC877 توانسته است در شرایط تنش خشکی از کاهش رشد ریشه‌ای جلوگیری نماید و با فعال‌نمودن مکانیسم‌های تحمل به خشکی سبب افزایش رشد سیستم ریشه‌ای گردد. بنابراین به نظر می‌رسد جلوگیری از کاهش رشد سیستم ریشه‌ای و حفظ رشد ریشه در شرایط تنش نقش مهمی در افزایش میزان تحمل به خشکی در گیاه نخود داشته باشد.

بیشتربودن رشد ریشه در ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی، امکان جذب بیشتر آب و مواد غذایی را برای این

ژنوتیپ‌ها فراهم نموده و صدمه‌های ناشی از تنش خشکی را کاهش می‌دهد (Ganjeali & Kafi, 2007). در شرایط تنش خشکی، در ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی، کاهش کمتری در رشد سیستم ریشه‌ای نسبت به اندام هوایی ایجاد شد. نتایج حاصله مؤید این مطلب است که در شرایط تنش خشکی، گیاهان متحمل به تنش، بخش عمده‌ای از اسیمیلات تولیدشده را به بخش‌های زیرزمینی گیاه (ریشه) اختصاص می‌دهند و رشد بخش هوایی را محدود می‌کنند. کاهش رشد بخش ساقه‌ای در جلوگیری از اتلاف آب موجود در برگ‌ها مؤثر است (Ganjeali & Kafi, 2007).

در شرایط تنش خشکی، به‌دلیل کاهش میزان آب موجود در خاک، آب دردسترس گیاه نیز کاهش می‌یابد. بنابراین گیاه جهت جذب آب به مقدار مورد نیاز باید رشد سیستم ریشه‌ای را افزایش دهد تا امکان جذب بیشتر آب برای گیاه فراهم شود. یکی از علت‌های محدودنشدن رشد ریشه در شرایط تنش خشکی، حساسیت کمتر ریشه به کاهش پتانسیل آب در شرایط تنش خشکی ذکر شده است (Ganjeali, *et al.*, 2013).

قبل از تنش، میزان اسیمیلاسیون CO_2 در ژنوتیپ MCC877 به‌طور معنی‌داری بیشتر از ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC68 بود (P≤۰/۰۱) (جدول ۵). تنش خشکی به‌طور معنی‌داری میزان اسیمیلاسیون CO_2 را کاهش داد (جدول ۱).

در مقایسه گیاهان شاهد، ۲۴ و ۴۸ساعت پس از تنش، ژنوتیپ MCC68، کمترین میزان اسیمیلاسیون CO_2 و ژنوتیپ MCC877 شاهد، بیشترین میزان اسیمیلاسیون CO_2 را به خود اختصاص دادند (P≤۰/۰۵) (جدول ۲). در این دو مرحله، تنش خشکی میزان اسیمیلاسیون CO_2 را در هر سه ژنوتیپ مورد بررسی به‌طور معنی‌داری کاهش داد (P≤۰/۰۱) (جدول ۲).

میزان اسیمیلاسیون CO_2 در مرحله ترمیم، در هر سه ژنوتیپ تنش دیده، به‌طور معنی‌داری کمتر از گیاهان شاهد بود (P≤۰/۰۱) (جدول ۲).

در مقایسه گیاهان پس از ۴۸ساعت تنش با گیاهان ترمیم‌شده مشخص شد که هر سه ژنوتیپ مورد بررسی در مرحله ترمیم توانسته‌اند میزان اسیمیلاسیون CO_2 خود را در حد مطلوبی افزایش دهند (جدول ۲). با توجه به این نتایج می توان گفت که افزایش میزان اسیمیلاسیون CO_2 در شرایط ترمیم نیز یکی دیگر از فرایندهای کاهش اثرات تخریبی ناشی از تنش است که می‌تواند در مدت زمان کوتاهی پس از تنش خشکی فعال شده و سبب بازگشت گیاه به شرایط رشد عادی گردد.

بالاتربودن اسیمیلاسیون CO_2 در ژنوتیپ‌های متحمل MCC877 و MCC392 نسبت به ژنوتیپ حساس MCC68 در هر سه مرحله مورد بررسی نشان‌دهنده وجود فرایندهای پاسخ‌دهنده به تنش، جهت جلوگیری از کاهش اسیمیلاسیون CO_2 در شرایط تنش خشکی است. بسته‌شدن روزنه‌ها در شرایط تنش خشکی و کاهش غلظت CO_2 درون‌سلولی، سبب کاهش میزان اسیمیلاسیون CO_2 و در نتیجه، کاهش میزان فتوسنتز شد. مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که ممانعت از آزادسازی O_2 که وابسته به CO_2 است و ممانعت از اسیمیلاسیون CO_2 در شرایط تنش خشکی با افزایش غلظت CO_2 محیط بهبود می‌یابد که این امر نشان‌دهنده نقش کلیدی روزنه‌ها در کاهش اسیمیلاسیون CO_2 در شرایط تنش خشکی است (Zlatev, & Yordanov, 2004; Rahbarian, *et al*., 2011). Ahmed *et al*, (2002) نیز اظهار داشتند که عامل اصلی محدودکننده فتوسنتز در گیاه لوبیا، کاهش هدایت مزوفیلی و کاهش اسیمیلاسیون کربن در هنگام تنش است.

قبل از تنش، میزان تعرق در ژنوتیپ MCC392 بیشتر از دو ژنوتیپ دیگر بود (جدول ۲). تنش به‌طور معنی‌داری میزان تعرق را کاهش داد (جدول ۲).

میزان تعرق ۲۴ساعت پس از تنش، در همه ژنوتیپ‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (P≤۰/۰۱). با این حال، ژنوتیپ MCC68 در شرایط تنش خشکی بیشترین میزان تعرق و ژنوتیپ MCC877 کمترین میزان تعرق را به خود اختصاص دادند (P≤۰/۰۵) (جدول ۲).

میزان تعرق ۴۸ساعت پس از تنش، در همه ژنوتیپ‌ها کاهش یافت (P≤۰/۰۱). بیشترین میزان تعرق متعلق به ژنوتیپ MCC68 و کمترین میزان تعرق متعلق به ژنوتیپ MCC877 بود (جدول ۲).

میزان تعرق در هر سه ژنوتیپ ترمیم‌شده به‌طور معنی‌داری کمتر از گیاهان شاهد بود (P≤۰/۰۱) (جدول۵). شدت کاهش تعرق در گیاهان ترمیم‌شده نسبت به گیاهان شاهد در ژنوتیپ‌های MCC392، MCC68 و MCC877 به‌ترتیب ۳۹درصد، ۷درصد و ۳۴درصد بود. بر اساس نتایج حاصله به‌نظر می‌رسد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی در مرحله ترمیم توانسته‌اند میزان تعرق خود را در حد مطلوبی کاهش دهند.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر به‌نظر می‌رسد که کاهش میزان تعرق در مرحله ترمیم به‌عنوان یکی از فرایندهای دفاعی عمل می‌کند و گیاهان با استفاده از کاهش تعرق می‌توانند سریع‌تر کاهش آب ناشی از تنش خشکی را

جبران نمایند و بنابراین با سرعت بیشتری به شرایط رشد عادی بازگردند.

کاهش میزان تعرق در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌عنوان فرایندی جهت حفظ آب برگ و جلوگیری از تبخیر آن مطرح باشد (Farooq, *et al*., 2009). بنابراین، ژنوتیپ‌هایی که از فرایندهای کارآمدتری برای کاهش تبخیر و تعرق برخوردار هستند، قادر به تحمل بهتر شرایط تنش خشکی خواهند بود و با حفظ بیشتر آب درون‌برگی، امکان رشد و انجام فرایندهای سلولی را بهتر فراهم می‌نمایند (Jaleel, *et al*., 2009). در مقابل، ژنوتیپ‌های حساس به تنش خشکی، توانایی کاهش میزان تعرق را نداشته و در نتیجه میزان زیادی از آب درون‌برگی طی عمل تعرق از گیاه خارج شده و بنابراین اثرات تخریبی ناشی از کم‌آبی در این ژنوتیپ‌ها شدت بیشتری نشان داده و گیاه در معرض اثرات تخریبی تنش خشکی قرار می‌گیرند (Jaleel, *et al*., 2009).

قبل از تنش، بیشترین و کمترین میزان کارآیی مصرف آب به‌ترتیب به ژنوتیپ‌های MCC877 و MCC392 اختصاص یافت، ولی تفاوت بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی معنی‌دار نبود (جدول ۲).

میزان کارآیی مصرف آب، ۲۴ساعت پس از تنش در همه ژنوتیپ‌های مورد بررسی نسبت به گیاهان شاهد به‌طور معنی داری کاهش یافت ($P\leq ۰/۰۵$) (جدول ۲). با این حال، ژنوتیپ MCC877 در شرایط تنش خشکی بیشترین میزان کارآیی مصرف آب و ژنوتیپ MCC68 کمترین میزان کارآیی مصرف آب را به خود اختصاص دادند (جدول ۲).

میزان کارآیی مصرف آب ۴۸ساعت پس از تنش، در ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC68 کاهش و در ژنوتیپ MCC877 افزایش یافت (جدول ۲). ژنوتیپ MCC877 در شرایط تنش خشکی توانست با کاهش شدید میزان تعرق، کارآیی مصرف آب خود را تا حد زیادی افزایش دهد و از هدرروی آب در این شرایط جلوگیری نماید. ژنوتیپMCC392 نیز توانست میزان تعرق را تا حد مطلوبی کاهش دهد، ولی به دلیل کاهش شدید میزان اسیمیلاسیون CO_2 در شرایط تنش خشکی، کارآیی مصرف آب این ژنوتیپ چندان مطلوب نبود. در مورد ژنوتیپ MCC68 می‌توان گفت که به دلیل کاهش شدید میزان اسیمیلاسیون و ناتوانی این ژنوتیپ در کاهش‌دادن میزان تعرق در شرایط تنش خشکی، این ژنوتیپ کارآیی مصرف آب بالایی در شرایط تنش نداشت (جدول ۲).

بالاترین میزان کارآیی مصرف آب در مرحله ترمیم به ژنوتیپ MCC877اختصاص یافت.

در مقایسه گیاهان پس از ۴۸ساعت تنش با گیاهان ترمیم‌شده مشخص شد که هر سه ژنوتیپ در مرحله ترمیم توانسته‌اند میزان کارآیی مصرف آب خود را در حد مطلوبی افزایش دهند. بنابراین نتایج می‌توان گفت که افزایش میزان کارآیی مصرف آب نقش مهمی در قدرت ترمیم ژنوتیپ‌های نخود پس از اعمال تنش خشکی دارد. در نتیجه ژنوتیپ‌هایی که از این فرایند جهت مقابله با تنش خشکی استفاده می‌کنند، سریع‌تر می‌توانند به شرایط رشد عادی بازگردند.

در مقایسه بین ۲۴ و ۴۸ساعت تنش، مشخص شد که با افزایش مدت زمان اعمال تنش خشکی، کارآیی مصرف آب در همه ژنوتیپ‌ها کاهش می‌یابد (جدول۲)، ولی با این حال ژنوتیپ‌های متحمل MCC392 و MCC877 در هر دو مرحله، کارآیی مصرف آب بالاتری نسبت به ژنوتیپ حساس MCC68 داشتند که این مطلب نشان‌دهنده وجود فرایندهای مقابله‌ای در ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی می‌باشد.

ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی، با کنترل عملکرد روزنه‌ای توانایی تثبیت کربن فتوسنتزی را در شرایط تنش حفظ می نمایند، بنابراین کارآیی مصرف آب در این ژنوتیپ‌ها افزایش می‌یابد (Rahbarian, *et al*., 2011). نتایج حاصل از پژوهش های گذشته نشان داده است که کارآیی مصرف آب می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مناسب جهت ارزیابی میزان تحمل ژنوتیپ‌ها به خشکی مورد استفاده قرار گیرد (Rahbarian, *et al*., 2011, Rahbarian, *et al*., 2013). بالاتربودن کارآیی مصرف آب در ژنوتیپ متحمل به خشکی لوبیا، گندم و بادام زمینی نسبت به ژنوتیپ حساس نیز گزارش شده است (Ahmed, *et al*., 2002; Ashraf & Iram 2005 Izanloo *et al*., 2008;).

قبل از تنش، مقاومت روزنه‌ای در ژنوتیپ MCC877 به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو ژنوتیپ دیگر بود ($P\leq ۰/۰۵$) (جدول ۲). مقاومت روزنه‌ای پس از ۲۴ساعت تنش در ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC68 نسبت به شرایط بدون تنش به‌ترتیب به میزان ۵۶درصد و ۴۲درصد کاهش و در ژنوتیپ MCC877 به میزان ۵۸درصد فزایش یافت. با این حال، ژنوتیپ MCC877 در شرایط تنش خشکی بیشترین و ژنوتیپ MCC392 کمترین مقاومت روزنه‌ای را به خود اختصاص دادند (جدول ۲).

مقاومت روزنه‌ای پس از ۴۸ساعت تنش، در همه ژنوتیپ‌های مورد بررسی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P\leq ۰/۰۱$) (جدول ۲).

مقاومت روزنه‌ای در مرحله ترمیم در ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC68 تنش دیده، نسبت به گیاهان شاهد

افزایش معنی‌داری نشان داد، درحالی‌که میزان مقاومت روزنه‌ای در ژنوتیپMCC877 در گیاهان شاهد و ترمیم تفاوت معنی داری نداشت. این مطلب نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های مورد بررسی با افزایش مقاومت روزنه‌ای در شرایط تنش، سعی بر ممانعت از خروج آب از برگ و حفظ آب در برگ داشته‌اند. بنابراین هر سه ژنوتیپ از طریق افزایش مقاومت روزنه‌ای تا حدودی خسارت‌های ناشی از کمبود آب را تعدیل نموده‌اند.

در مقایسه گیاهان ترمیم‌شده با گیاهان پس از ۴۸ساعت تنش مشخص شد که ژنوتیپ MCC877 توانسته است بلافاصله پس از آبیاری هدایت روزنه‌ای خود را کاهش دهد و آن‌را در حد گیاهان شاهد حفظ نماید و از این طریق امکان ورود دی اکسید کربن برای انجام اسیمیلاسیون را فراهم نماید. ژنوتیپ‌های MCC392 و MCC68 نیز تا حدودی توانسته‌اند مقاومت روزنه‌ای در مرحله ترمیم را نسبت به گیاهان پس از ۴۸ساعت تنش کاهش دهند، ولی همچنان تفاوت معنی‌داری در میزان مقاومت روزنه‌ای این دو ژنوتیپ بین گیاهان شاهد و ترمیم وجود دارد. بنابراین برتری ژنوتیپMCC877 در فعال سازی سریع فرایندهای ترمیم جهت بازگرداندن گیاه به شرایط رشد عادی نسبت به دو ژنوتیپ دیگر محرز است.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که ژنوتیپ متحمل MCC877، بیشترین میزان کارآیی مصرف آب و کمترین میزان تعرق را در مرحله ترمیم نسبت به دو ژنوتیپ دیگر داشت. بر اساس نتایج مشاهده شده می‌توان گفت که حفظ ضریب پایداری غشاء، کاهش تعرق و افزایش کارآیی مصرف آب در افزایش توانایی گیاهان جهت مقابله با تنش و همچنین فراهم‌نمودن شرایط رشد گیاه پس از تنش، نقش مؤثری خواهند داشت. علاوه برآن، ژنوتیپ‌های متحمل MCC392 و MCC877 که از کاهش شدید عملکرد فتوسنتزی در شرایط تنش جلوگیری می‌کنند و قادر به انجام اسیمیلاسیونCO_2 در حد مطلوب هستند، پس از تنش نیز از توانایی بالاتری جهت برگشت به شرایط رشد عادی برخوردار می‌باشند.

منابع

1. Ahmed, S., Nawata, E., Hosokawa, M., Domae, Y., and Sakuratani, T. 2002. Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activity of mungbean subjected to waterlogging. Plant Science 163: 117-123.
2. Ashraf, M., and Iram, A. 2005. Drought stress induced changes in some organic substances in nodules and other plant parts of two potential legumes differing in salt tolerance. Flora 200: 535-546.
3. Ashraf, M., Nawazish, S.H., and Athar, H. 2007. Are chlorophyll fluorescence and photosynthetic capacity potential physiological determinants of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.)? Pakistan Journal of Botany 39: 1123-1131.
4. Barr, H.D., and Weatherley, P.E. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. Australian Journal of Biological Science 15: 413-428.
5. Bayoumi, T.Y., Eid, M., and Metwali, E.M. 2008. Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. African Journal of Biotechnology 7: 2341-2352.
6. Beck, E., Fettig, S., Knake, C., Hartig, K., and Bhattarai, T. 2007. Specific and unspecific responses of plants to cold and drought stress. Journal of Bioscience 32: 501-510.
7. Dulai, S., Molnar, I., Pronay, J., Csernak, A., Tarnai, R., and Molnar-Lang, M. 2006. Effects of drought on photosynthetic parameters and heat stability of PSII in wheat and in *Aegilops* species originating from dry habitats. Acta Biologica Szegediensis 50: 11-17.
8. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development 29: 185-212.
9. Figueiredo, M., Bezerra, E., and Burity, H. 2001. Water stress response on the enzymatic activity in cowpea nodules. Brazilian Journal of Microbiology 32: 1-9.
10. Fu, J., and Huang, B. 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. Environmental and Experimental Botany 45: 05-114.
11. Galle, A., Csiszar, J., Tari, I., and Erdei, L. 2002. Changes in water and chlorophyll fluorescence parameters under osmotic stress in wheat cultivars. Acta Biologica Szegedieniensis 46: 85-86.
12. Ganjeali, A., and Kafi, M. 2007. Genotypic differences for allometric relationships between root and shoot characteristics in chickpea (*Cicer arietinum* L.), Pakistan Journal of Botany 39: 1523-1531.
13. Ganjeali, A., Porsa, H., and Bagheri, A. 2011. Assessment of Iranian chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasms for drought tolerance. Agricultural Water Management 98(9): 1477-1484.

14. Ganjeali, A., Rahbarian, R., Baghri, A., and Malekzadeh-Shafaroudi, S. 2014, Study of drought stress on morphological, physiological and biochemical characteristics of chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under field condition. Iranian Journal of Pulses Research 5(1): 91-102. (In Persian with English Summary).
15. Gindaba, J., Rozanov, A., and Negash, L., 2004. Photosynthetic gas exchange, growth and biomass allocation of to Eucalyptus and three indigenous of tree species of Ethiopia under moisture deficit. Forest Ecology and Management 205: 127-138.
16. Guerfel, M., Baccouri, O., Boujnah, D., Cha, W., and Zarrouk, M. 2008. Impacts of water stress on gas exchange, water elations, chlorophyll content and leaf structure in the two main Tunisian olive (*Olea europaea* L.) cultivars. Scientia Horticulturae 1: 1-7.
17. Gunes, A., Cicek, N., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Guneri E., and Guzelordu, T. 2006. Genotypic response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars to drought stress implemented at pre-and post anthesis stages and its relations with nutrient uptake and efficiency. Plant Soil Environment 52: 868-876.
18. Helal, R.M., and Samir, M.A. 2008. Comprative response of drought tolorant and drought sensitive maize genotypes to water stress. Australian Journal of Crop Science 1: 31-36.
19. Izanloo, A., Condon, A.G., Langridge, P., Tester, M., and Schnurbusch, T. 2008. Different mechanisms of adaptation to cyclic water stress in two south australian bread wheat cultivars. Journal of Experimental Botany 59: 3327-3346.
20. Jaleel, C.A, Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R., and Panneerselvam, R. 2009. Drought stress plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology 11: 100-105.
21. Kiani, S.P., Maury, P., Sarrafi, A., & Grieu, P. 2008. QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions. Plant Science 175: 565-573.
22. Maxwell, K., and Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence- a practical guide. Journal of Experimental Botany 51: 659-668.
23. Nunes, C., Ara ujo, S., da Silva, J.M., Salema Fevereiro, M., and da Silva, A. 2008. Physiological responses of the legume model *Medicago truncatula* cv. Jem along to water deficit. Environmental and Experimental Botany 63: 289-296.
24. Premachandra, G.S., Saneoka, H., and Ogata, S. 1990. Cell membrane stability an indicator of drought tolerance as affected by applied nitrogen in soybean. Journal of Agricultural Science (Camb) 115: 63-66.
25. Parameshwarappa, S.G., and Salimath, P.M. 2008. Field screening of chickpea genotypes for drought resistance. Karnataka Journal of Agriculture Science 21: 113-114.
26. Rahbarian, R., Khavari Nejad. R.A., Ganjeali, A.,Baghri, A., and Najafi, F. 2011. Drought stress effects on photosynthesis and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum*. L.) enotypes. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica 53: 47-56.
27. Rahbarian, R., Khavari Nejad. R.A., Ganjeali, A.,Baghri, A., Najafi, F., and Roshanfekr, M. 2012. Use of biochemical indices and antioxidant enzymes as a screening technique for drought tolerance in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). African Journal of Agricultural Research 7(39): 5372-5380.
28. Rahbarian, R., Khavari Nejad, R.A., Ganjeali, A., Baghri, A., and Najafi, F. 2013. Drought stress effects on photosynthesis chlorophyll fluorescence and photosynthetic pigments in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Iranian Journal of Pulses Research 4(2): 87-98. (In Persian with English Summary).
29. Zlatev, Z.S., and Yordanov, I.T. 2004. Effects of soil drought on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in bean plants, BULG. Journal of Plant Physiology 30: 3-18.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 9, No. 1, 2018, p. 29-42

Effective index in growth retainment under drought stress and recovery stage in chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes

Rahbarian[1], R.

Assistant Professor of Biology, Plant Physiology, Department of Biology, Payame-Noor University, I.R. Iran

Received: 4 November 2015
Accepted: 25 July 2016

DOI: 10.22067/ijpr.v9i1.30586

Introduction

Chickpea is an important source of protein supply in human diet. Drought decreases the yield and has the potential for leading into a total crop failure. However, chickpea is known for its better drought tolerance when compared to most of the other cool season legumes. Furthermore, drought stress is one of the fundamental reasons for reducing the amount of growth and yield of chickpea. One of plant response to drought stress is change in photosynthetic efficiency and photosynthetic pigment content. Fv/Fm ratio is a parameter that determinate any damage to photosystems and possible photo inhibition. Photosynthetic pigments play important roles in harvesting light. Drought stress decreases CO_2 assimilation rate and root growing index leading to reduction of yield. Under drought stress condition plants close their stomata to reduce water loss and retain relative water content. So decrease in internal CO_2 concentration and net photosynthetic rate would occur. Reduced inhibition of CO_2 assimilation rate under drought stress is so important for resistant chickpea genotypes. The effects of drought stress on membrane stability index, relative water content and leaf water potential have also been investigated in many studies. This study is designed to investigate effective traits regarding growth retain under drought stress and recovery stages in resistant and susceptible chickpea genotypes. In addition, the study aims at determining the role of physiological indexes in growth retaining in drought stressed chickpea plants.

Materials & Methods

In order to evaluate the effective traits regarding growth retain under drought stress and recovery stage in chickpea genotypes, an experiment was conducted in controlled conditions with two tolerant genotypes (MCC392 and MCC877) and one susceptible genotypes (MCC68) were grown under controlled (field capacity) and drought stress (25% field capacity) conditions in growth chamber under 12.5 hours photoperiod (21°C day/8°C night) for the first month and 13 hours, photoperiod (27°C day/12°C night) for the second month similar to normal field situations in chickpea growing region. Drought stress induced for 9 days in the flowering stage and then plants were watering up to field capacity (recovery stage). Water use efficiency (WUE), CO_2 assimilation rate (A), transpiration rate (E), leaf water potential, chlorophyll fluorescence, membrane stability index (MSI), relative water content (RWC), stomatal resistance, and leaf, area, dry weight and volume of roots were investigated before drought stress, 24 hours and 48 hours after drought stress and recovery stages in investigated genotypes.

Results & Discussion

Drought stress significantly decreased CO_2 assimilation rate, transpiration rate, and PSII photochemical efficiency (Fv/Fm), RWC and MSI in all genotypes. In the recovery stage, MCC877 genotype had the highest WUE and the lowest transpiration rate as compared to other genotypes. Also in this stage, MSI in all genotypes was lower than control plants. MCC68 genotype (susceptible genotype) had the lowest MSI in recovery stage as compared to drought stressed plant after 48 hours According to these results, MCC68 genotype (as a susceptible genotype) could not retain MSI under drought stress and recovery stage while in resistant genotypes (MCC392 and MCC877) there was no significant difference for MSI in recovery stage as compared to drought stressed plant after 48 hours. Water potential was higher in recovered plant as compared to drought stressed plant after 48 hours while control plant in recovery stage had lower water potential as compared to drought stressed plant. MCC392 (resistant genotype) and MCC68 (susceptible genotype) recovered genotypes had the highest and the lowest increasing in leaf water potential as compared to drought stressed plant after 48 hours. Higher water potential in chickpea genotypes is effective in

***Corresponding Author:** ra_rahbarian@yahoo.com, Tel.: 05138683009

increasing drought tolerance and growth retaining after drought. CO_2 assimilation rate and water use efficiency was higher in resistant genotypes (MCC392 and MCC877) as compared to susceptible genotype (MCC68) in all drought stress stages. Resistant genotypes had lower transpiration rate under drought stress as compared to control plants in all investigated stages.

Conclusions

According to the results, higher membrane stability index, lower transpiration rate and higher water use efficiency can be effective in growth retain under drought stress and recovery stage. Also tolerant genotypes (MCC392 and MCC877) that have prevented the sharp decreased in photochemical efficiency and CO_2 assimilation rate under drought stress had higher ability to growth retain after drought stress.

Key words: Chickpea, CO_2 assimilation rate, PSII photochemical efficiency, Transpiration rate